



# 岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

## A地域における露地畑の最適水需要量の推定に関する研究(II)：設計基準に基づいた灌漑計画用水量

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-06-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 西出, 勤, 千家, 正照, 谷川, 寅彦, 矢部, 勝彦 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12099/5458">http://hdl.handle.net/20.500.12099/5458</a>

## A地域における露地畑の最適水需要量の推定に関する研究 (II)

—— 設計基準に基づいた灌漑計画用水量 ——

西出 勤・千家正照・谷川寅彦\*・矢部勝彦\*

生産環境整備学講座  
(1990年7月31日受理)

## Studies on the Estimation of the Optimum Water Demand in the Openfield (II)

—— Water Requirement of Irrigation Planning Based on the Design Year ——

Tsutomu NISHIDE, Masateru SENGE, Torahiko TANIGAWA  
and Katsuhiko YABE

*Department of Land and Water Engineering*  
(Received July 31, 1990)

### SUMMARY

This study was carried out to clarify the relationship between the precipitation and the available rainfall or net water requirement for the year, the relationship between the available rainfall and the net water requirement, and water requirement of the irrigation planning based on the design year in the upland irrigation. The results obtained are as follows.

1. The correlation coefficient between the precipitation and the rainfall or net water requirement for the year is not so high because the absolute values are about 0.7.
2. The correlation coefficient between the available rainfall and net water requirement is very high because its absolute value is near 1.0.
3. The watering frequency of the intermittent irrigation method becomes higher because the full utilization of TRAM can not be achieved.
4. The greater the watering frequency becomes, the more the available rainfall decreases.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. (55) : 65—73, 1990.

### 要 約

年降水量と有効降雨量および純用水量との関係、有効降雨量と純用水量との関係を追究するとともに設計基準に基づいた畑地灌漑における計画用水量を検討した。その結果、次に示すようなことを明らかにした。

1. 降水量と有効雨量および純用水量の相関係数はそれほど大きくなく約0.7程度である。2. 有効雨量と純用水量との相関係数は大きく、1.0に近い値である。3. 設計基準に基づいた輪灌の全層灌漑では降雨の有効化が低下し灌漑回数が低下する。

---

\* 大阪府立大学農学部

## 緒 言

前報では、T用水受益地内における代表作物の作付面積と生産高の農林統計資料を整理し、土地利用状況の動向と将来予測について検討した。また、ファームポンドに併設された揚水機の月間使用電力量から月間使用水量を計算し、有効雨量を考慮することによって畑地灌漑の基礎諸元である月別日消費水量を推定した。その結果、農業用水が確保された前後では作付体系及び輪作体系が大きく変化すること、さらに用水確保後においても時代の経過と共に作付体系が徐々に変化していることが明らかになった。一方、月間使用水量及び月別日消費水量は従来から言われているように植物の蒸発散が最大となる7月や8月に必ずしも最大にならないという事実を指摘するとともに、実態の聞き取り調査から裏付けることができた。

そこで、本論文では、前報における日消費水量の推定値を用いて作付体系の変化はあるものの年間水需要量を水収支計算により過去14年間にわたり行い、これを基に灌漑計画用水量の推定を試みた。

### I. 年間水需要量の動向

#### 1. 計算方法と計算諸元

畑地灌漑における年間水需要量は、灌漑諸元である日消費水量と TRAM を用い、日降水量や土壌中の残留水分量の変化を考慮することによって計算することができる。そこで、土壌環境調査の結果を参考に TRAM=30mm とし、月別日消費水量は前報の結果を採用する。日降水量は A 町 I 分室測候所における 1971 年 4 月 1 日～1986 年 3 月 31 日（但し、1976 年 4 月 1 日～1977 年 3 月 31 日の観測値に欠測が多数含まれるので、これは除外する）の 14 年間の観測値を用いる。なお、設計基準の方法に準じて年間水需要量の計算を行うので、輪番灌漑を前提とする。検討地区の間断日数は、N 第 2 地区が 5 日（ $=30/5.1=5.88$ ）、I 第 2 地区が 7 日（ $=\text{TRAM}/\text{ピーク消費水量}=30/4.1=7.31$ ）で、ピーク消費水量の大きい N 第 2 地区の間断日数が短くなる。この様に灌漑諸元を決定すると、土壌中の残留水分に注目した水収支式は次のように表される。

$$S_i = S_{i-1} + RE_i + IR_i - C_i \cdots (1)$$

ただし、 $S_i$ ,  $S_{i-1}$ :  $i$  日目,  $(i-1)$  日目の残留土壌水分量（体積含水率%）,  $RE_i$ :  $i$  日目の有効降雨量（mm）,  $IR_i$ :  $i$  日目の純用水量（mm）,  $C_i$ :  $i$  日目の消費水量（mm）

一方、5 mm/day 以下の降雨を無効降雨とし、5 mm/day 以上の降水量  $R_i$  の 80% を有効に利用できるものとすると、 $i$  日目の有効降雨量は次式によって求めることができる。

$$RE_i = \begin{cases} 0.8 R_i & (0.8 R_i + S_{i-1} - C_i \leq \text{TRAM}) \\ \text{TRAM} + C_i - S_{i-1} & (0.8 R_i + S_{i-1} - C_i > \text{TRAM}, C_i < S_{i-1}) \cdots (2) \\ \text{TRAM} & (0.8 R_i + S_{i-1} - C_i > \text{TRAM}, C_i > S_{i-1}) \end{cases}$$

ただし、この水収支計算法は設計基準に基づいた用水量を積算するための手法であり、必ずしも実態を反映するものではない。たとえば、設計基準では輪番灌漑を前提とした用水計算を行っているが、実際の農家ではそのような水管理が守られることがほとんどないからである。

#### 2. 計算結果と若干の考察

##### (1) 年度別の水収支計算結果

1971 年度から 1985 年度（1976 年度は降水量データに欠測値が多いため除外）の計 14 年間について水収支計算を行った。年度は 4 月 1 日から翌年の 3 月 31 日とする。計算結果は表-1 に示す。

まず、N 第 2 地区（受益面積 55.8 ha）では、有効降雨量の最大値が 1974 年度と 1975 年度の 456 mm、小さい値は 1978 年度の 280 mm と 1984 年度の 284 mm である。これらの有効降雨量を示す年度の降水量は 1974 年度が 1,820 mm、1975 年度が 1,648 mm で、大きい順から数えてそれぞれ第 2 位と第 4 位であり、1978 年度が 950 mm で第 13 位である。このことから有効降雨量と降水量の大小にはほぼ正の関係が成り立っているが必ずしも正反対の関係であるとは言えない。一方、純用水量が大きい年度は 1984 年度と 1978 年度で、それぞれ 824 mm と 821 mm である。純用水量が小さい年度は 1975 年度と 1971 年度であり、それぞれ 643 mm と 655 mm である。これに対して降水量は純用水量の大きい年度に小さな値を示し、純用水量の小さい年度に大きな値を示す傾向の

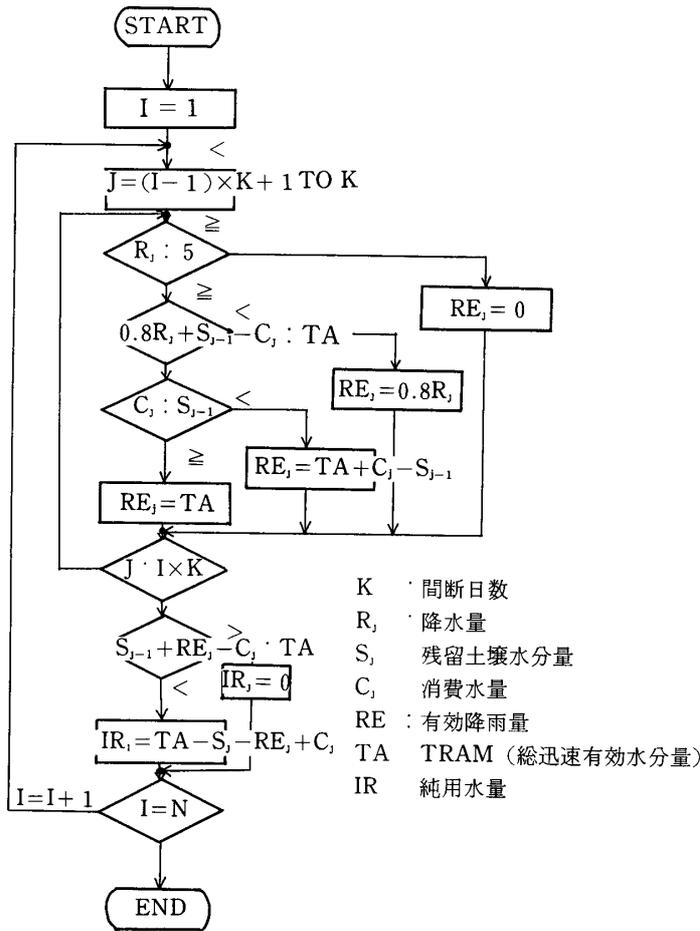


図-1 水収支計算におけるフロー図

- K 間断日数
- $R_j$  降水量
- $S_j$  残留土壌水分量
- $C_j$  消費水量
- RE : 有効降雨量
- TA TRAM (総迅速有効水分量)
- IR 純用水量

表-1 年度別水収支計算結果

年度	降水量	N第2地区		I第2地区	
		A. R.	I. R.	A. R.	I. R.
1971	1457	444	655	401	493
72	1726	396	691	362	531
73	1281	366	720	396	496
74	1820	456	631	340	552
75	1648	456	643	410	485
77	972	345	746	318	575
78	950	280	817	293	599
79	1526	369	730	324	570
80	1479	411	685	407	485
81	1321	369	726	342	600
82	2125	418	674	424	469
83	1314	392	707	329	565
84	878	284	804	255	637
85	1134	369	723	272	621
合計	1402	383	711	348	545

単位(mm)

あることがわかるが、必ずしも正反対の関係が成り立っていない。

同様に、I第2地区(受益面積10.0ha)では、有効降雨量の大きな値は、1982年度の424mmと1975年度の410mmであり、小さな値は、1984年度の255mmと1985年度の272mmである。降水量では、1982年度は大きい順で第1位、1975年度は第4位であり、1984年度は第14位

(最下位)、1985年度は第11位である。このことから有効降雨量と降水量との間にはN第2地区と同様な関係が予想される。一方、純用水量については、大きな値は1984年度の637mmと1985年度の621mmであり、小さな値は1982年度の469mmと1980年度の485mmである。降水量では1984年度と1985年度はそれぞれ第14位、第11位であり、1982年度と1980年度はそれぞれ第1位、第5位であるので降水量が小さい年に純用水量が大きくなる傾向を示す。

以上、水収支計算結果から有効降雨量及び純用水量と降水量の関係を検討した。その結果、有効降雨量と降水量との間には正の比例関係が、純用水量と降水量との間には負の比例関係がみられたが、降雨の分布は梅雨及び台風の季節に集中する傾向にあるので必ずしも両者の相関関係が高くないことが予想される。これに対し、有効降雨量と純用水量との間には、長期にわたる水収支計算から判断すると土壌水分量変化の影響が少なくなるので、両者にはかなり高い相関関係が成立することが予測される。そこで、次項において、降水量と有効降雨量及び純用水量との関係を考察すると共に有効降雨量と純用水量との関係を明らかにする。

(2) 降水量と有効降雨量の相関分析

降水量と有効降雨量の関係についてN第2地区とI第2地区の結果は図-2と図-3に示す。

図-2と図-3からプロットされた点は非常にバラツキの大きいことがわかる。そこで、降水量と有効降雨量の関係について回帰及び相関分析を行った。回帰の分散分析表は表-2と表-3に示す。

F-表の値は共に(1,12;0.05)でとると $F(1,12;0.05)=4.75$ である。このF-表の値と分散比を比較すると、N第2地区、I第2地区の分散比は共にF-表の値よりも大きく、回帰直線式を求めても意味のあることがわかる。その結果は図中に示す。また、両地区の相関係数rはN第2地区が $r=0.79$ 、I第2地区が0.72とそれほど大きくないので、t-表による無相関検定を行った。t-表では両地区ともt

(12; 0.05)=2.179となり、N第2地区は  $|t_o| = 4.075$ 、I第2地区は  $|t_o| = 3.281$ であるので両地区とも無相関ではないことがわかる。これらの検討結果より、降水量が増大すると有効降雨量も増大する傾向にあることがわかった。しかし、散布図におけるバラツキが大きく、相関係数もそれほど大きくないが、これは集中豪雨の発生など降雨分布の悪さが作用しているからであり、また、有効降雨量が降水量の大きさばかりでなく、残留土壌水分量や TRAM の大きさにも影響を受けるからと推察される。

(3) 降水量と純用水量の相関分析

前述したように降水量と純用水量との間に何等かの関係がありそうであるが、もしあるとすれば、降水量観測により純用水量を推測できる利点がある。そこで、N第2地区とI第2地区の降水量と純用水量との関係について図-4と図-5に示す。

図-4と図-5でプロットされた点は非常にバラツキが大きい。そこで、降水量と純用水量の関係について回帰及び相関分析を行った。回帰の分散分析表は表-4と表-5に示す。

F一表の値は  $F(1, 12; 0.05) = 4.75$ であり、N第2地区の分散比はこのF一表の値よりも大きく、回帰直線式を求めても意味のあることがわかる。その結果は図中に示す。また、両地区の降水量と純用水量に関する相関係数  $r$  はそれぞれ、 $-0.78$ 、 $-0.71$ とそれほど大きくないので、 $t$ -表による無相関検定を行った。その結果、N第2地区は  $|t| = 3.942$ 、I第2地区は  $|t| = 3.188$ であり、共に無相関ではないことがわかった。したがって、降水量と純用水量の間には一方が増大すれば、片方は減少する傾向が考えられる。しかし、相関係数がそれほど大きくないのでその傾向を断定することはできない。この様に相関係数

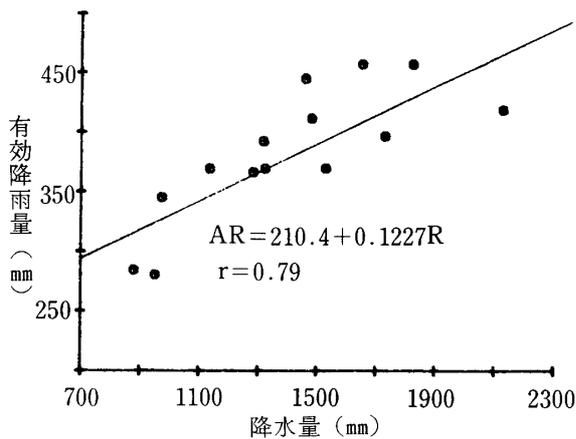


図-2 N第2地区における降水量と有効降雨量の関係 (AR: 有効降雨量, R=降水量, r=相関係数)

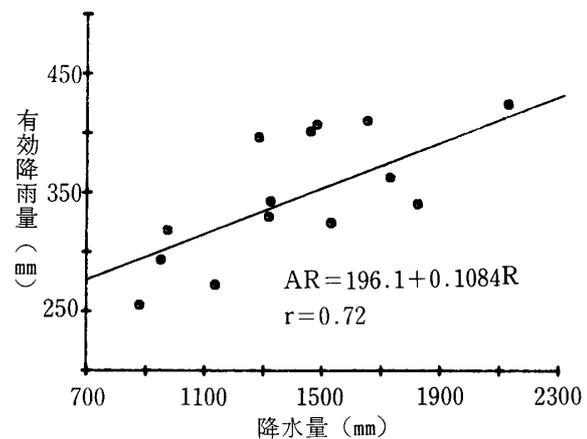


図-3 I第2地区における降水量と有効降雨量の関係 (AR: 有効降雨量, R=降水量, r=相関係数)

表-2 N第2地区の降水量と有効降雨量に関する回帰の分散分析

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	F一表の値
回帰	24871.0	1	24871.00	20.951*	$F(1, 12; 0.05) = 4.75$
残差	14494.4	12	1207.86		
合計	39365.4	13			

表-3 I第2地区の降水量と有効降雨量に関する回帰の分散分析

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	F一表の値
回帰	19415.4	1	19415.40	12.675*	$F(1, 12; 0.05) = 4.75$
残差	18381.4	12	1531.79		
合計	37796.8	13			

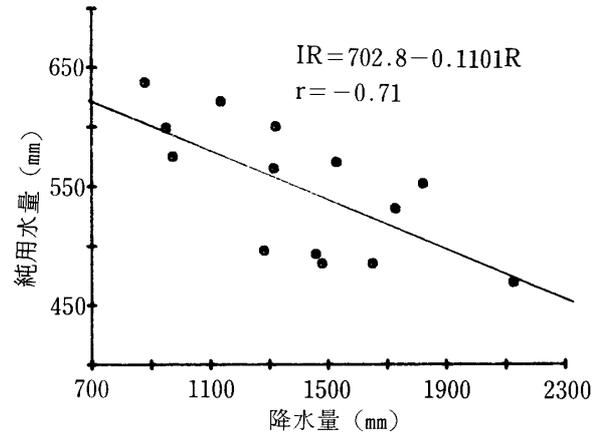
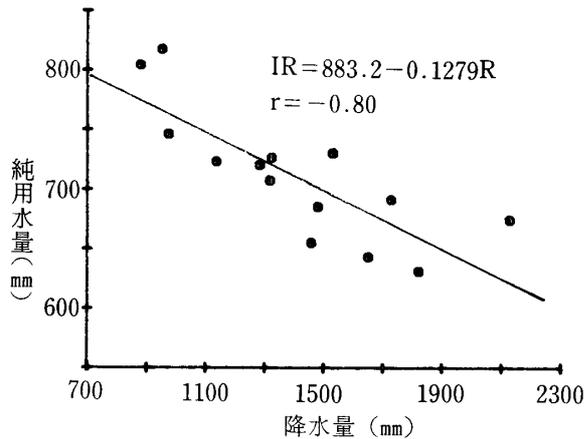


図-4 N第2地区における降水量と純用水量の関係 (IR：純用水量, R=降水量, r=相関係数)

図-5 I第2地区における降水量と純用水量の関係 (IR：純用水量, R：降水量, r=相関係数)

表-4 N第2地区の降水量と純用水量に関する回帰の分散分析

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	F - 表の値
回帰	24944.2	1	24944.20	20.014*	F(1,12; 0.05)=4.75
残差	13597.3	12	1133.11		
合計	38541.5	13			

表-5 I第2地区の降水量と純用水量に関する回帰の分散分析

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	F - 表の値
回帰	20026.0	1	20026.00	11.872*	F(1,12; 0.05)=4.75
残差	20241.5	12	1686.79		
合計	40267.5	13			

がそれほど大きくないことや散布図でバラツキが大きい理由としては、前述した降水量と有効降雨量の場合と同様の理由によるものと考えられる。このように降水量と有効降雨量及び純用水量との関係は定性的にはある傾向を示すと言えそうであるが、それほど強い関係があると言えないことが分かった。

(4) 有効降雨量と純用水量の相関分析

純用水量は水収支式からわかるように残留土壌水分量、消費水量と有効降雨量を媒介として算出されるので、有効降雨量と純用水量との間の関係が明らかになれば、降水量と純用水量との関係（間接的関係である）よりもより直接的に有効降雨量から純用水量が推定できる利点がある。そこで、有効降雨量と純用水量の関係についてN第2地区とI第2地区で検討したのでその結果を図-6、図-7に示す。

図-6と図-7の結果を見ると、非常にバラツキが小さく、プロットされた点がほとんど1本の直線上にのりそうである。そこで、同様に回帰及び相関分析を行った。回帰の分析表は表-6と表-7に示す。

表の結果より両地区とも分散比が100以上を示し、回帰直線式を求めることは非常に意味のあることがわかる。一方、相関係数は、N第2地区が $r = -1.0$ 、I第2地区が $r = -0.97$ とかなり大きく、有効降雨量と純用水量の間には強い相関関係があると判断できる。この様に有効降雨量と純用水量との間に強い相関関係があるのは前にも述べたように純用水量が水収支式の(3)式で算出され、長期間にわたる水収支では残留土壌水分の影響が小さいためと推察できる。すなわち、年間を通じての消費水量は年度別に一定であるため、近似的には有効降雨量と純用水量の和が消費水量となり、有効降雨量が増大すれば純用水量は減少するからである。したがって、有効降雨量を何等かの方法で推定できれば、純用水量は容易に決めるこ

とができることになる。

## II. 露地畑の灌漑計画用水量の推定

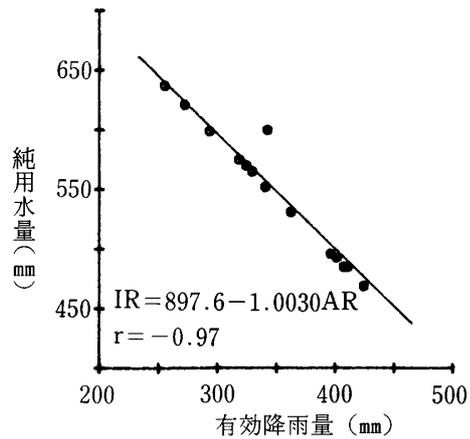
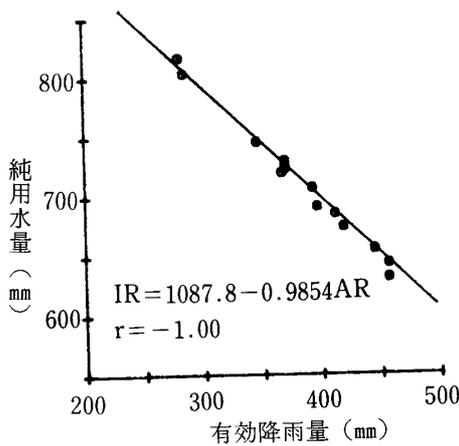
### 1. 計画基準年の決定

畑地灌漑における計画基準年は10年に一度発生する干ばつ年を対象に決定される。この計画基準年を決定要因として、ここでは年間の降雨量、有効降雨量及び純用水量を取り上げ、これらを確率統計処理することにより、計画基準年の決定を行う。

まず、年間降水量は4月1日～翌年3月31日迄に観測された値である。なお、前報の降水量は暦年（1月1日～12月31日）を対象に集計しているのに対し、有効降雨量と純用水量は水年（4月1日～翌年3月31日）の集計であることを留意されたい。さらに、ここで用いる確率統計処理は岩井法の簡略であり、トーマス・プロットに従って図示する。これらの条件のもとで得られた降水量に関する対数正規分布結果は図一8に示す。

この結果から得られる基本推定式は降水量をX、任意の確率に対応する正規変数を $\xi$ とすると、 $\log X = 3.1329 - 0.15927\xi$ となる。この基本推定式から平年確率と10年確率の降水量を求めると、それぞれ1,358mm, 974mmである。しかし、1/10確率の降水量に該当する年度が存在しないのでより近い値を示す年度を探すと、972mmを記録した1977年度となる。

次に、有効降雨量に関する対数正規分布のN第2地区の結果は図一9、I第2地区の結果は図一10に示



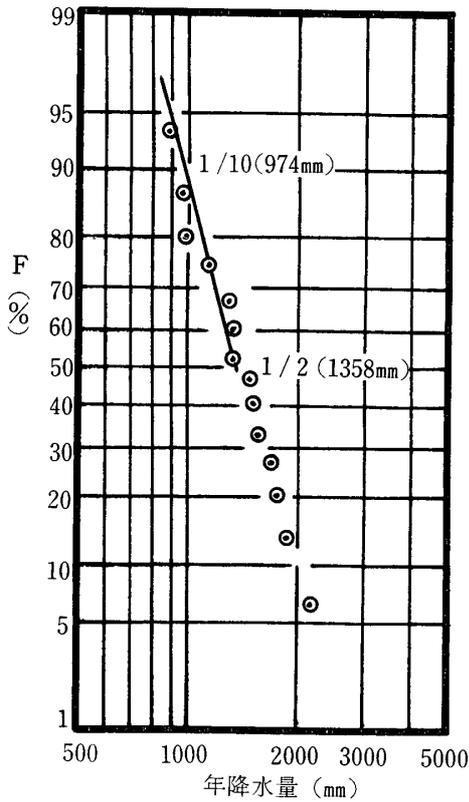
図一6 N第2地区における純用水量と有効降雨量の関係 (IR:純用水量, AR:有効降雨量, r:相関係数)      図一7 I第2地区における純用水量と有効降雨量の関係 (IR:純用水量, AR:有効降雨量, r:相関係数)

表一6 N第2地区の有効降雨量と純用水量に関する回帰の分散分析

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	F一表の値
回帰	38226.900	1	38226.9000	1458.23**	F(1,12;0.05)=4.75
残差	314.574	12	26.2145		
合計	38541.474	13			

表一7 I第2地区の有効降雨量と純用水量に関する回帰の分散分析

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	F一表の値
回帰	38026.40	1	38026.100	203.615**	F(1,12;0.05)=4.75
残差	2241.08	12	186.757		
合計	40267.48	13			



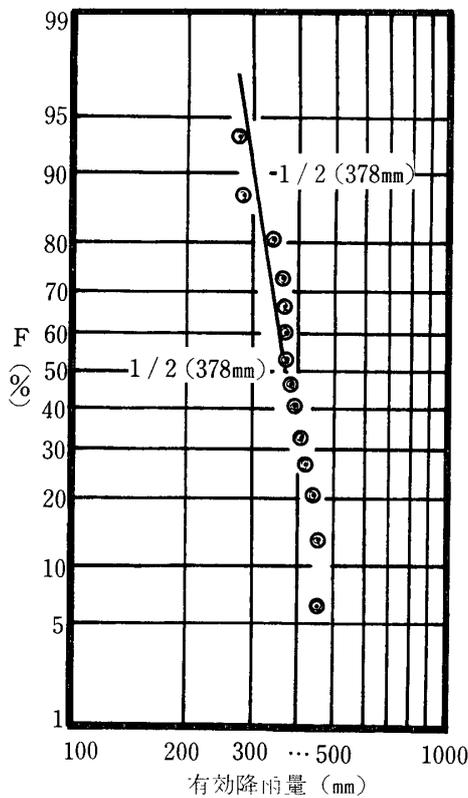
図一八 年度別降水量の確率分布

す。

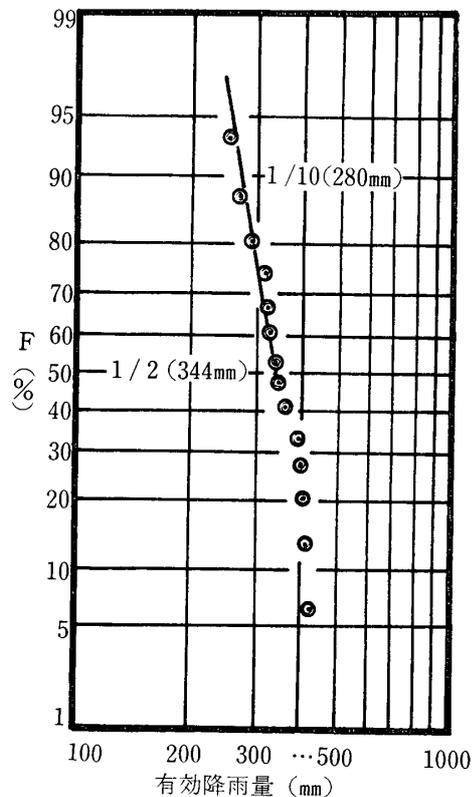
まず、N第2地区に関する基本推定式は有効降雨量をXとすると、 $\log X = 2.5777 - 0.09324\xi$ となる。この推定式より、平年確率と10年確率の有効降雨量を求めると、それぞれ378mm, 311mmである。しかし、 $\frac{1}{10}$ 確率の有効降雨量に該当する年度が存在しないのでより近い値を示す年度を探すと、284mmを示す1984年度と280mmを示す1977年となる。一方、I第2地区に関する基本推定式を求めると、 $\log X = 2.5362 - 0.09801\xi$ となる。これより平年確率と10年確率の有効降雨量を求めると、それぞれ344mm, 280mmである。しかし、 $\frac{1}{10}$ 確率に該当する年度は存在しないのでより近い値を探すと、272mmを示す1985年度と293mmを示す1978年度となる。

また、純用水量に関する対数正規分布のN第2地区の結果は図一11、I第2地区結果は図一12に示す。

まず、N第2地区2に関する基本推定式は純用水量をXとすると、 $\log X = 2.8501 + 0.04642\xi$ となる。これより平年確率と10年確率の純用水量を求めると、それぞれ、718mm, 780mmである。しかし、 $\frac{1}{10}$ 確率に該当する年度が存在しないのでより近い値を示す年度を探すと、762mmを示す1977年度となる。一方、I第2地区に関する推定式は  $\log X = 2.7365 + 0.06261\xi$ となる。これより平年確率と10年確率の純用水量を求めると、それぞれ、645mm, 621mmである。しか



図一九 N第2地区の有効降雨量の確率分布



図一十 I第2地区の有効降雨量の確率分布

し、 $\frac{1}{10}$ 確率に該当する年度は1985年度である。

以上、確率統計処理を行い、計画基準年を決定するために降水量、有効降雨量及び純用水量について $\frac{1}{10}$ 確率に該当する年度あるいはそれに近い値を示す年度を検討した。すなわち、N第2地区では $\frac{1}{10}$ 確率の(降水量, 有効雨量, 純用水量)が(974, 311, 780)となり、それに近似した年度として1977年度は(972, 280, 746), 1984年度が(878, 284, 804), 1985年度が(1,134, 369, 723), 1978年度が(950, 293, 599)である。一方、I第2地区では $\frac{1}{10}$ 確率で(974, 280, 621), 1985年度が(1,134, 272, 621), 1978年度が(950, 293, 599), 1984年度が(878, 284, 637), 1977年度が(972, 318, 575)となる。そこで、N第2地区とI第2地区について $\frac{1}{10}$ 確率の灌漑計画用水量の基準年を決定すると、1984年度が妥当であると判断される。この根拠となったのは、この年の両地区における純用水量の計算値は $\frac{1}{10}$ 確率の純用水量より大きめに計算されるからで、将来の水需要増大に対してある程度余裕を見込むことが計画上の安全性を高めるからである。

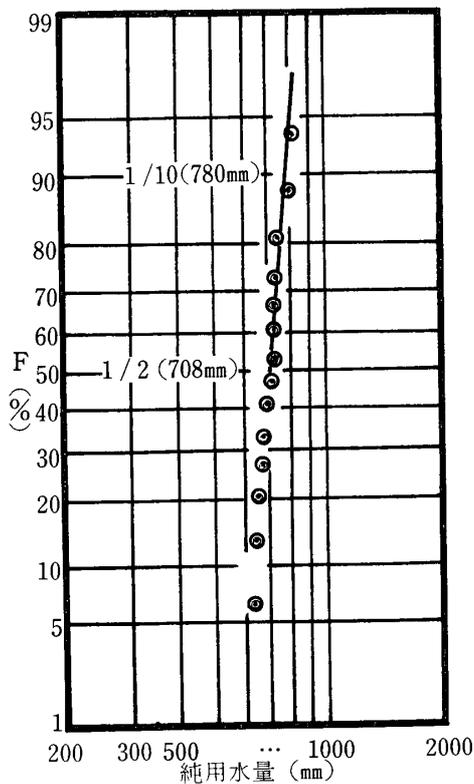
## 2. 計画基準年の水収支と若干の考察

前項の検討結果より計画基準年を1984年に決定したが、この年度の月間水収支結果は表一8に示す。

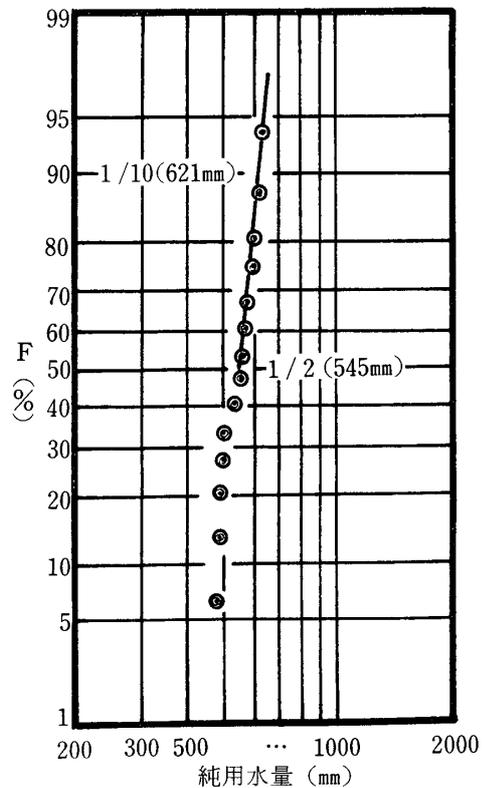
なお、1984年度における灌漑回数はN第2地区が69回、I第2地区が48回であり、輪灌の灌水日において無灌漑日がほとんどないことがわかる。また、N第2地区とI第2地区との間で灌漑回数異なるのは間断日数が異なるからである。

まず、N第2地区において、有効降雨量は59mmの6月が最大、最小は約11mmの8月と1月である。有効降雨率(=有効降雨率÷降水量)では63%の11月が最大であり、降水量の大きい月は相対的に有効降雨率が小さい傾向を示す。また、純用水量は、5月、7月、9月が100mm以上の大きな値を示し、約19mmを示す3月が最小である。また、8月は約47mmで4月から11月の間で最小となるが、この月にはあまり作付が行われず見掛け上の日消費水量が小さくなることによるものである。

次に、I第2地区においては、有効降雨量が約35mmを示す3月が最大、約6mmの12月が最小である。しかし、有効降雨率では約55%を示す9月が最大で、月間降水量が大きい5月、6月、7月の有効降雨率は



図一11 N第2地区の純用水量の確率分布



図一12 I第2地区の純用水量の確率分布

表—8 基準年における月別水収支計算結果（1984年度）

月	R.	N 第 2 地区				I 第 2 地区			
		回数	A.R mm	A.R (%)	IR mm	回数	A.R mm	A.R (%)	IR mm
4	68	6	32.8	48.2	69.2	5	23.1	34.0	74.2
5	106	7	17.0	16.0	110.5	4	20.3	19.2	60.9
6	194	6	59.2	30.5	93.8	4	34.1	17.6	57.4
7	119	6	21.4	18.0	115.6	4	21.7	18.2	38.0
8	44	6	10.5	23.9	46.5	4	15.6	35.5	90.0
9	59	6	23.0	39.0	115.0	4	32.7	55.4	94.1
10	24	6	14.0	58.3	70.0	4	9.6	40.0	57.6
11	24	6	15.2	63.3	80.8	4	11.8	49.2	41.4
12	33	5	19.4	58.8	22.6	5	6.0	18.2	32.0
1	35	6	10.8	30.9	34.2	4	16.0	45.7	41.6
2	75	4	26.0	34.7	27.0	3	25.5	34.0	27.2
3	94	5	34.8	37.0	19.2	5	34.6	36.8	22.4
合計	878	69	248.1	100.0	804.4	48	255.0	100.0	637.3

小さい。また、純用水量は、月間100mmを越える月は存在せず、90mmを示す8月、94mmを示す9月が大きく、2月と3月はそれぞれ27.22mmと小さい。

以上、基準年における月間有効降雨量と純用水量について検討したが、消費水量の異なるN第2地区とI第2地区では若干水需要の傾向は異なることがわかった。さらに、灌漑回数は全層灌漑の輪灌漑を行うと灌水回数が多くなり、降雨の有効利用の面で不利になることが予想される。

### あ と が き

本研究では、年間水需要量の推定を前報で示した月別日消費水量を用いて過去14年間について行った。計算結果から、まず、降水量が既知であれば、有効降雨量及び純用水量が推定できないかどうかを検討したが困難であることがわかった。これに対して、有効降雨量と純用水量との間には高い相関関係が見られた。一方、計画基準年の決定は降水量、有効降雨量、純用水量の確率統計処理によって行ったが、この3条件を満足させる基準年の決定は難しく、純用水量を安全側に評価する1984年度とすることが用水計画上妥当であると判断された。計画基準年における灌漑回数は設計基準の方法に基づいた間断灌漑を行うと回数が多くなり、降雨の有効利用の面で不利なことが予想される。また、間断日数及び月別日消費水量が異なれば、計算される有効降雨量や純用水量の傾向が若干異なることがわかった。

最後に研究を遂行するにあたり、数多くの助言をいただいた明治大学教授、江崎要博士並びに関係各位には深謝する次第である。